

# 実験トランジスタ・アンプ設計講座

黒田 徹

## ●実用技術編

### 第10章 回路シミュレータ SPICE 入門 (24)

今回は、マランツのプリアンプ#7と双壁をなすマッキントッシュ C 22 型プリアンプをシミュレーションします。

#### 原回路<sup>(1)</sup>と動作点

イコライザ・アンプ部の回路図を第1図に示します。原回路を忠実に再現しました。NFBは2段目のプレートから初段のカソードに戻されています。3段目はカソード・フォロワで、3段目のカソードから2段目のカソードに 330 k $\Omega$  を介し、正帰還が掛っています。

原回路図には各部の DC 電圧が表記されています。初段のプレート電圧は 144 V、2段目のプレート電圧は 148 V です。シミュレーション結果は、初段が 155.879 V、2段目

が 165.026 V です。なお、12 AX 7 は Koren 氏のデバイス・モデルを用いました。誤差は真空管の特性のばらつきの範囲でしょう。

#### 帰還回路網の定数

帰還回路網は複雑です。こんな回路定数で果たして RIAA 特性になるのか、やや疑問です。シミュレーションで、周波数特性を確認しましょう。

RIAA 偏差を見るため、逆 RIAA 特性回路を挿入します (前号参照)。前号では、R 18 と R 19 を同じ値 (1 k $\Omega$ ) としましたが、今回は逆 RIAA 回路の 1 kHz のゲインを 0 dB とするため、R 18 の値を 9.89808 k $\Omega$  にしています。逆 RIAA 回路の増幅器 (LAP 4, LAP 5, LAP 6) はアナロ

グ・ビヘイビア・モデルです。モデルの設定方法は、前号を参照してください。

RIAA 偏差のシミュレーション結果を第2図に示します。やはり妙なカーブです。

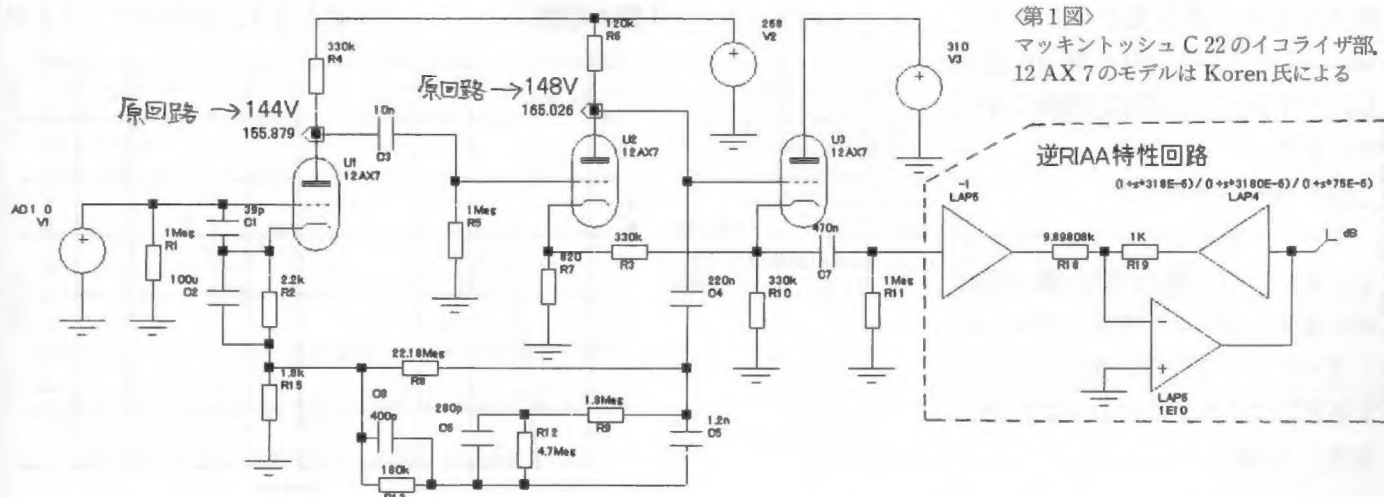
20 Hz : +0.2 dB  
30 Hz : +0.4 dB  
100 Hz : -0.1 dB  
1 kHz : 0.0 dB  
20 kHz : +0.3 dB

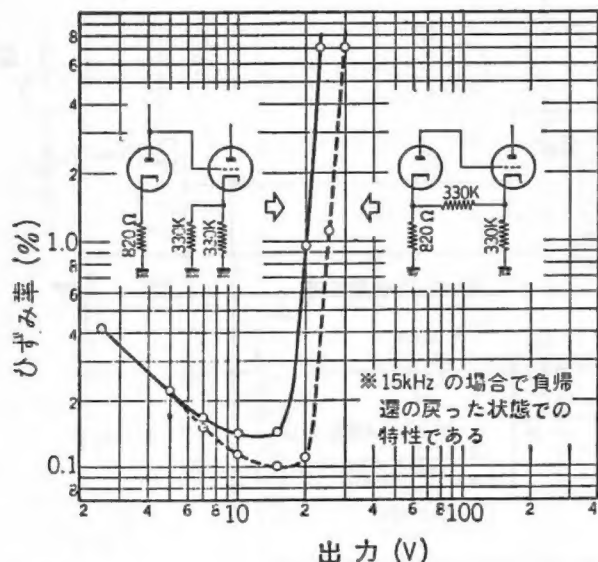
となっています。

ちなみに、マランツ #7 の RIAA 偏差を第3図に示します。45 Hz ~ 20 kHz の範囲では  $\pm 0.1$  dB 以内に入っています。しかし 20 Hz は -1.5 dB 落ちています。

#### (1) 正帰還の効果

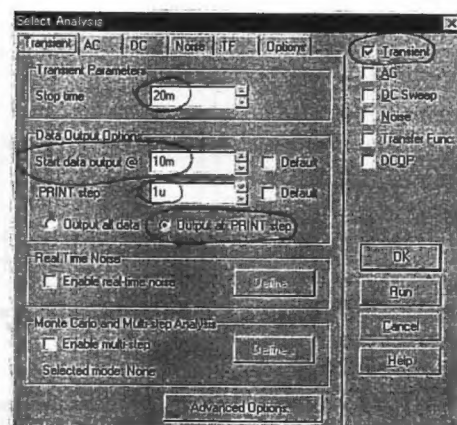
C 22 のイコライザ・アンプの正帰還の目的は何でしょう？ これは真空管オペアンプ K 2-W と同じ目的、すなわちオープン・ループ・ゲ



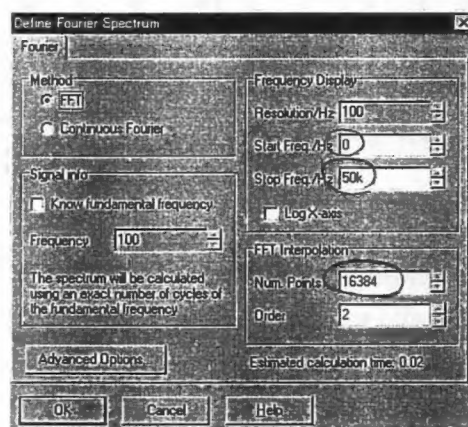


◀第9図▶  
上杉氏の発表した K-K  
正帰還の効果 (本誌 69  
年 10月号 p.105 第 7  
図)

◀第11図▶  
過渡解析の設定



◀第12図▶  
フーリエ解析の設定



のかも知れません。

## ひずみ率特性

上杉佳郎氏が本誌 1969 年 10 月号に発表されたマッキントッシュ C 22 クローン製作記事によりますと、カソード・フォロワのカソードから 2 段目のカソードに掛けられた正帰還によって、15 kHz のクリッピング・レベルが約 5 V ほど大きくなった、と報告されています<sup>(2)</sup>(第 9 図)。

シミュレーションで確かめてみましょう。まず第 10 図の回路で過渡解析を実行したあと、フーリエ解析を実行します。入力電圧  $V_1$  は片ピーク振幅=1 V、周波数=15 kHz の

サイン波に設定します。

## (1) 過渡解析の設定

第 11 図のように設定します。Start data output@を 10 ms に設定し、0~10 ms のデータ出力を禁止します。これは、入力信号が加わってから約 10 ms の期間は、過渡的に動作点が変わるためです。

.PRINT step は 1  $\mu$ s に設定します。そして Output at .PRINT step を選択します。

## (2) 過渡解析の実行

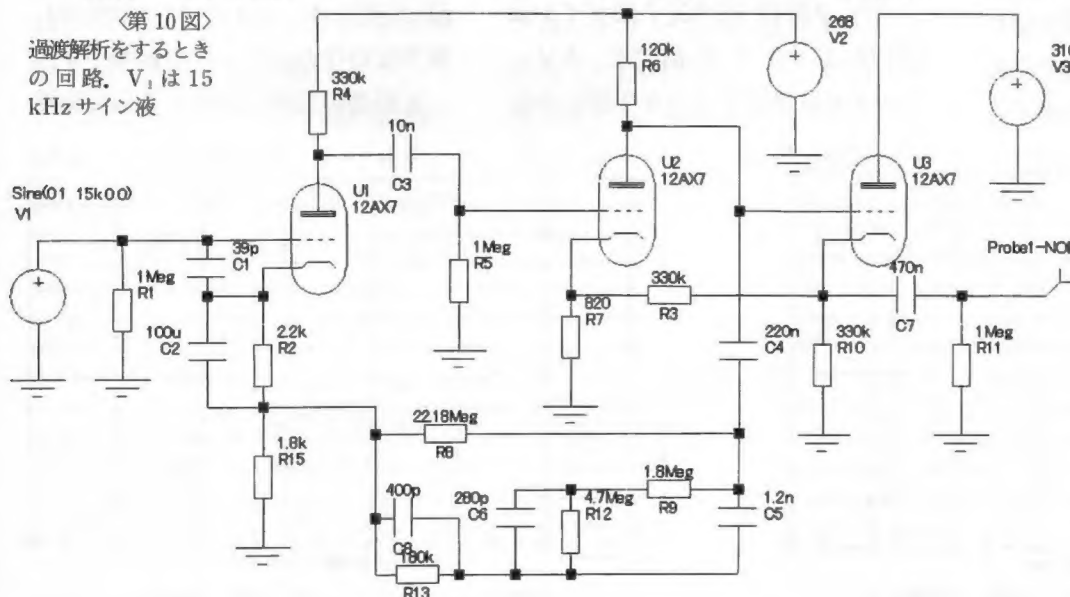
内部解析は時刻 0 からスタートしますが、10 ms に達するまではデータ出力を止めているので、グラフはすぐには表示されません。数秒経

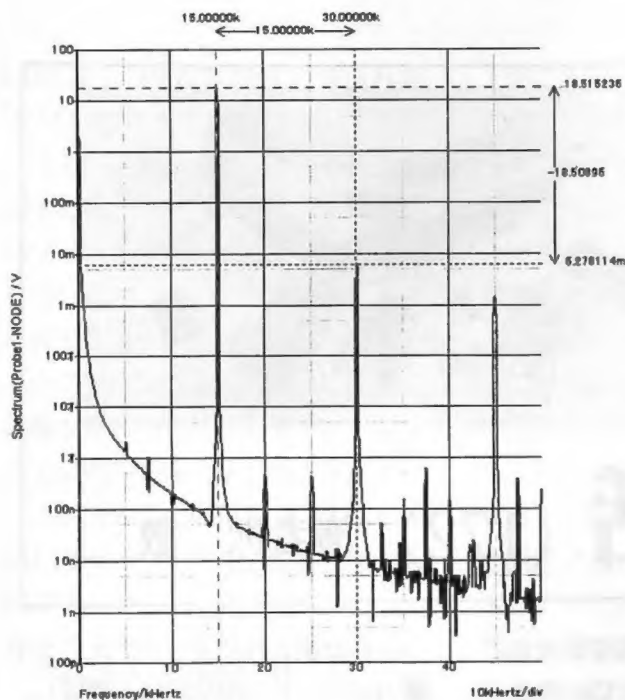
過後にグラフが現れます。過渡解析が終了したら、回路図ウィンドウのメニューの [Probe] → [Fourier] → [Probe voltage custom...] をクリックします。オシロスコープのプロブの形をしたカーソルが現れるので、第 10 図の出力端子の配線にカーソルを当て、クリックします。

すると、フーリエ解析の設定ダイアログボックス (第 12 図) が現れる

ので、図のように編集します。すなわち X 軸の周波数範囲を 0~50 kHz、FFT 点数=16384 とします。設定がすんだら [OK] ボタンをクリックします。すぐにフーリエ解析結果 (第 13 図) が表示されます。もし解析結果を表示するグラフが見えないときは、回路図ウィンドウのサイズを縮小してください。グラフが現れます。

◀第10図▶  
過渡解析をするときの回路。 $V_1$  は 15 kHz サイン波





◀第13図▶  
フーリエ解  
析の結果

◀第14図▶  
第10図の  
回路および  
正帰還をは  
ずしたとき  
回路のひず  
み率特性。周  
波数は15  
kHz

第13図から、基本波成分=18.51 V、第2調波成分=6.278 mVと読み取れます。したがって第2調波ひずみ率=0.034%と算出されます。出力電圧は18.51/1.414=13.09 V<sub>rms</sub>です。

同様にして、第10図のV1の振幅を変えてシミュレーションすると、第2調波ひずみ率対出力電圧特性(第14図)を描くことができます。

つぎに帰還抵抗R3/330 Kをアースに落して正帰還をはずした回路で、同様に過渡解析とフーリエ解析を実行すると、正帰還がないときの第2調波ひずみ率対出力電圧特性(第14図)を描くことができます。なお、第14図の実線曲線は、12 AX7のデバイス・モデルとしてKoren氏のモデルを使用した場合で、破線曲線は中林歩氏のモデルを使用した場合です。

上杉氏の実測特性(第9図)は、正帰還をかけたとき、出力クリッピング・レベルが約5 V<sub>rms</sub>増加していますが、ひずみ率が1%になる出力電圧は、正帰還の有無にかかわらず29 V<sub>rms</sub>です。

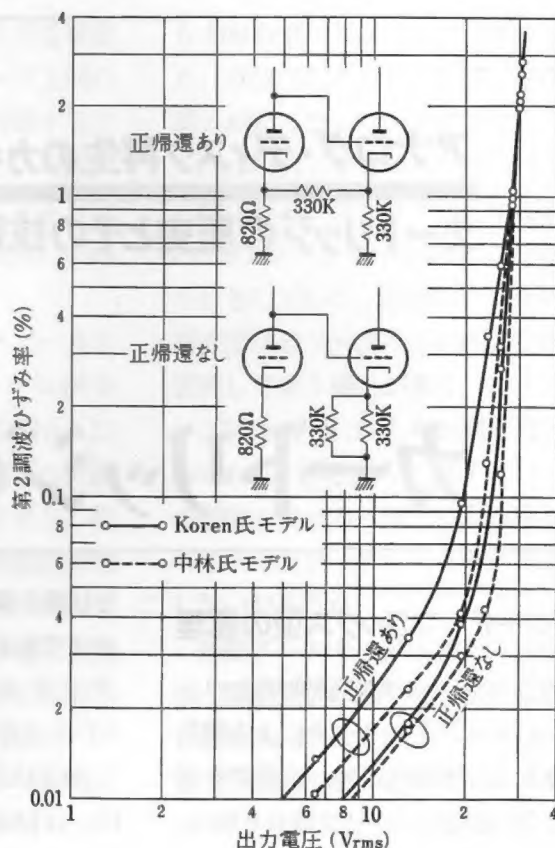
Koren氏モデルの場合、ひずみ率=0.1%の出力電圧は、正帰還あ

りて約20 V<sub>rms</sub>、正帰還なしで約25 V<sub>rms</sub>です。上杉氏の実測特性とまったく逆です。中林氏モデルの場合も、正帰還のない方がひずみ率=0.1%の出力電圧が大きくなっています。

ちなみに、中林氏の12 AX7モデルを用いたときの初段12 AX7のDCプレート電圧は143.176 V、2段目12 AX7のDCプレート電圧は152.851 Vです。第1図に示すように、原回路図に記載された初段のDCプレート電圧は144 Vで、2段目は148 Vでから、中林氏のモデルは、Koren氏のモデルよりさらに正確だろうと思います。

このようにシミュレーション結果は、上杉氏の実測特性とまったく合いません。その原因はつぎのどちらかでしょう。

- ①12 AX7のデバイス・モデルの精度が不十分で、実際の真空管の特性を正確に反映していない。
- ②上杉氏の測定された回路は、た



また第9図のようになった。

なお、第9図の測定回路は、マッキントッシュ社の純正C22なのか、上杉氏の製作されたイミテーション機なのか、記事では明確ではありません。ちなみに、上杉氏のイミテーション機(ラジオ技術1969年10月号p.102第1図参照)は、2段目12 AX7のプレート抵抗が100 kΩで、実測プレート電圧=170 VDC、実測B電圧=260 Vとなっており、C22原回路図の値と若干の相違があります。

第9図と第14図の特性差の原因をはっきりさせるため、諸兄の実機による追試実験をお願いしたいと存じます。

#### ■引用文献

- (1) マッキントッシュC22原回路図(<http://www.berniers.ch/McIntosh/en/Matrix.htm>からダウンロードできます)
- (2) 上杉佳郎「マッキントッシュC22日本版! 12 AX7×6高性能高信頼度ステレオ・プリアンプの製作」ラジオ技術1969年10月号p.105、第7図。